

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Aprimoramento do estudo de cápsulas para sensores de pressão montadas através do ajuste com interferência

Diego Conte Ayala Penalver¹; Kleberon Cartolari de Souza²; Marcos Roberto Nascimento³; Vitor Marcelo Costa Halcsik⁴; Humber Furlan⁵;

Resumo – Este trabalho apresenta um estudo desenvolvido para aperfeiçoar a técnica de encapsulamento de sensores de pressão, se baseando em uma linha de trabalhos antecessores que vêm desenvolvendo e testando técnicas inovadoras, que visam simplificar o processo de fabricação e montagem de cápsulas que envolvem e protegem sensores de pressão. O ajuste com interferência é utilizado neste estudo como meio de fixação na união das partes da cápsula. Foram realizados testes em uma balança de peso morto para avaliar a estanqueidade, atingindo a pressão hidráulica máxima de 1000 Bar. Os resultados mostraram que a técnica é confiável, e teve desempenho superior aos resultados obtidos anteriormente, comprovando a necessidade de investimentos para a continuidade de estudos e testes, de modo a tornar esta, uma técnica com aplicações comerciais.

Palavras-chave: Encapsulamento, Sensor de Pressão, Estanqueidade

Abstract -.This paper presents a study designed to enhance the pressure sensors packaging technique is based on a line of predecessors works that are developing and testing innovative techniques to simplify the manufacturing process and capsules assembly that surrounds and protects sensors pressure. The interference fit is used in this study as a binding agent that hold together the capsule parts. Tests were performed on a dead weight tester to evaluate the tightness, reaching the maximum hydraulic pressure of 1000 bar. The results showed that the technique is reliable, and has outperformed the results obtained previously, proving the need for investment to continue studies and tests in order to make this a technique with commercial applications.

Keywords: Packaging, Pressure Sensor, Tightness.

1. Introdução

¹ Faculdade de Tecnologia de São Paulo, diegoayalapenalver@fatecsp.br

² Faculdade de Tecnologia de São Paulo, kleberoncartolari@fatecsp.br

³ Faculdade de Tecnologia de São Paulo, marcos_roberto@fatecsp.br

⁴ Faculdade de Tecnologia de São Paulo, vitor.halcsik@fatecsp.br

⁵ Faculdade de Tecnologia de São Paulo, humber@fatecsp.br

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

A pressão é a variável que influi direta ou indiretamente em nosso cotidiano, assim como nos equipamentos, e ou nos processos de fabricação destes, abrangendo desde simples equipamentos domésticos, até industriais e de cunho científico. Tem importância fundamental nos transportes terrestres, náuticos, aéreos e aeroespaciais ou na indústria como controle de processos, sendo estes, nível, volume, vazão e densidade.

O desenvolvimento dos equipamentos de medição e controle da pressão evoluíram em conjunto com as novas tecnologias. Os manômetros e as válvulas de segurança (válvulas de alívio), que tiveram extrema importância na era a vapor, pois sem estes equipamentos as caldeiras se tornariam verdadeiras bombas.

Com a chegada da eletricidade e da eletrônica e, atualmente, da microeletrônica, estes métodos de controle foram aprimorados, como por exemplo: controladores de pressão que sentem a pressão e atuam de acordo com a programação pré-estabelecida e abrem ou fecham as válvulas para alívio da pressão ou contenção desta, tornando-se um sistema automatizado.

O alto grau de desenvolvimento e sofisticação que vem alcançando as etapas de processos da microeletrônica, permite o aparecimento de sistemas multifuncionais ou microssistemas integrados, MEMS (Micro Electric Mechanical System), com características próprias muito atraentes tais como: tamanhos reduzidos, baixo custo, alta confiabilidade e possibilidades de incluir seu próprio circuito eletrônico para processamento do sinal (FURLAN. H, 2003).

A indústria de MEMS tem apresentado grandes impactos na sociedade devido à sua expansão, atendendo as demandas em várias áreas de aplicações (controle de processos, controles industriais, militares, espaciais, automotivas, transportes, médicas e de consumo), os quais exigem, na maioria das vezes, mecanismos de sensoriamento. A primeira e mais bem sucedida aplicação comercial de MEMS é o sensor de pressão integrado monolítico, não obstante, outros desenvolvimentos MEMS, têm alcançado o mercado nos anos recentes.

O resultado esperado ao final desta pesquisa será a comprovação através de testes do aprimoramento de um método inovador de encapsulamento para sensores de pressão isolados do meio.

2. Referencial Teórico

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Este trabalho está baseado na evolução do estudo, desenvolvimento e teste de um método inovador para encapsulamento de Sensores de pressão Isolados do Meio (SIM), utilizando apenas o ajuste com interferência, eliminando o processo de soldagem à plasma.

Com base em recentes produções científicas, nota-se que os sensores de pressão, já bem conhecidos e concebidos, conquistam o maior nicho do mercado de sensores. A diversidade das aplicações desse tipo de sensores oferece o crédito necessário para maiores investimentos em seu desenvolvimento tecnológico e de aplicação, (FURLAN. H, 2003).

Na literatura encontram-se autores que descrevem encapsulamento de microssensores de pressão de diversos tipos e aplicações, entre eles: F. Della Lucia et al, (2014), que estudam a viabilidade de um sensor de pressão de baixo custo, para atender as necessidades operacionais da indústria de petróleo e gás utilizando cápsulas de aço inoxidável 316 L; Lung-Tai Chen, et al (2009), desenvolveram cápsulas inovadoras de material plástico, que têm como vantagem seu tamanho, sendo até sete vezes menor que os comerciais do mesmo segmento; K.Birkelund, et al (2001), viabilizam um encapsulamento de baixo custo para sensor de alta pressão, utilizando silicone como matéria prima.

Visando uma nova tecnologia para encapsulamento de SIM, e a simplificação dos equipamentos que compõem o pátio fabril, o estudo da montagem com interferência, se mostra uma solução eficaz para ser utilizada em testes, para sensores que atuam em pressões acima de 300 bar com intuito de atingir no máximo 1000 bar.

A cápsula metálica tem a função de proteger o microchip sensor de pressão, sendo toda construída em aço inoxidável 316, que depois de passar por um processo de soldagem, se torna então uma cápsula sensora, que transmite a pressão externa, através do óleo que está armazenado hermeticamente dentro da mesma, de modo que o microssensor possa receber os estímulos necessários sem ser danificado.

Propõe-se, neste trabalho, a modificação do processo de encapsulamento por soldagem em um processo mais simples que é a fixação das partes da cápsula metálica pelo ajuste com interferência mecânica por contração lateral, modificando a fixação do diafragma de aço inoxidável. Para tornar possível esse encapsulamento é necessário mudar as características geométricas externas da cápsula (PENALVER, et al; 2014). A figura 1 mostra o modelo original comparado ao protótipo que foi desenvolvido para ser analisado e aprimorado ao fim deste trabalho.

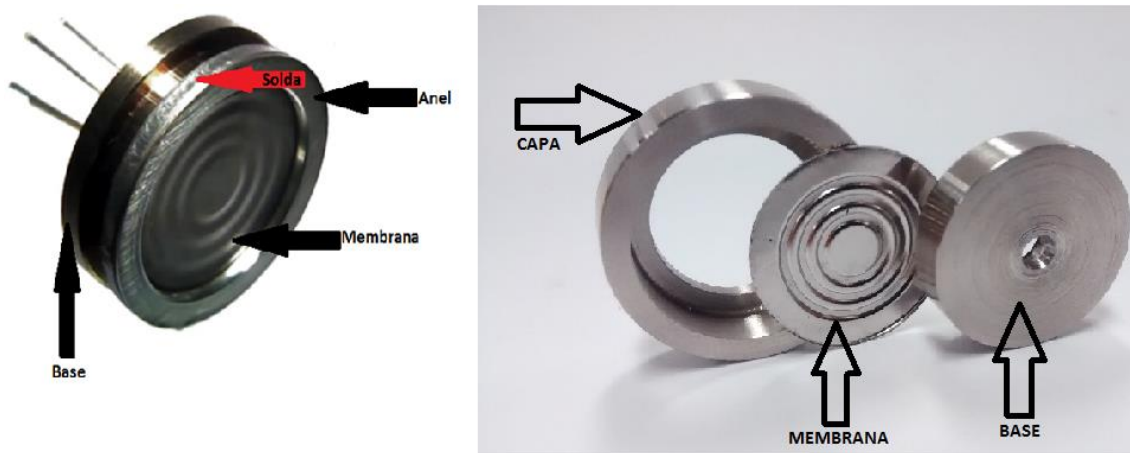
Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Figura 1: Fotografias dos modelos de cápsulas em forma de comparativo.

Fonte: Autor adaptada, FURLAN, H., processo FAPESP – PIPE n° 02/128830

A interferência é a diferença entre os diâmetros de dois corpos montados, que resulta em uma força constante que os mantém unidos. Tal força se dá pelo fato do eixo ter maior dimensão do que o furo em que será alojado. A montagem com interferência mecânica é uma técnica bem difundida e comumente utilizada em diversos campos da engenharia, sendo este um recurso para montagem de diversos tipos de elementos de máquinas, e ou outras funções de fixação, (Agostinho, et al, 2007).

O ajuste com interferência pode ser do tipo prensado longitudinal, feito com as partes em temperatura ambiente e com o auxílio de uma prensa, ou ajuste prensado transversal, feito por contração quando se aquece a peça externa, ou também por dilatação quando se resfria o eixo. O ajuste com interferência deve ser devidamente calculado para que a interferência mínima não permita o escorregamento entre as peças (condição de atrito), e que a interferência máxima não ocasione a deformação plástica, (Bulba, 2000).

Pelo sistema de ajuste ABNT pode-se normalizar o ajuste pretendido de acordo com a NBR 6158 – Sistema de tolerâncias e ajustes, assim obtendo a tolerância dimensional correta para o tipo de ajuste desejado. A aplicação desta técnica possibilitará a otimização do processo de encapsulamento para sensores de pressão.

3. Método

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Para desenvolver este trabalho faz-se necessário conhecer os conceitos, tipos de ajustes normalizados, assim como as propriedades do Aço AISI 316, utilizadas para calcular as interferências máxima e mínima do ajuste ideal de montagem desta nova cápsula. Através da equação de Lamée Calpeyron, pode-se obter o valor da interferência máxima e interferência mínima, e de acordo com a Norma NBR-6158, pode-se normalizar o ajuste dando os campos de tolerâncias ideais para a fabricação das partes que compõem o protótipo (PENALVER, 2016).

Para fabricar as peças que compõem a cápsula metálica, é imprescindível ter o conhecimento sobre as técnicas do processo de usinagem, assim como os procedimentos de fabricação e de usinagem de metais, maquinário compatível por precisão dimensional e potência suficiente para executar a confecção dos protótipos (PENALVER, 2016).

Com os resultados obtidos no ensaio dos primeiros protótipos foi concluído que, se fazia necessária a continuidade deste estudo, e desta forma podendo gerar informações para contribuir para a evolução deste novo método de encapsulamento. Foram produzidas 12 amostras segundo a metodologia de manufatura e montagem descrita no artigo publicado no **IX WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA: INOVAÇÃO DO PROCESSO DE ENCAPSULAMENTO DE SENSORES ISOLADOS DO MEIO, ISSN: 2175-1897**, porém o teste de estanqueidade foi realizado em uma balança de peso morto, diferentemente do teste proposto no trabalho citado acima.

Os resultados do ensaio de estanqueidade apontaram falhas no processo de montagem, então, as técnicas empregadas no cálculo, fabricação e montagem foram aprimoradas em relação ao primeiro protótipo e testes, resultando neste trabalho que é o aperfeiçoamento de uma nova tecnologia para encapsular sensores de pressão.

A diferença entre o primeiro protótipo e o atual é a pequena mudança nos valores de tolerância de ajuste que passou de **Furo Capa 19 H8 e Base 19 z8**, para **Furo Capa 19 H7 e Base z7**. Na montagem, a mudança foi a adição de um suporte aquecido que proporcionou uma temperatura homogênea no momento da montagem, (PENALVER, 2016). Os testes também foram alterados de uma prensa hidráulica com alcance de 220 Bar, (PENALVER, et al. 2014), para uma balança de peso morto calibrada, que tem range de até 1000 Bar (PENALVER, 2016).

Após as alterações necessárias, foram fabricados e montados um novo lote com 18 protótipos idênticos de cápsulas, foram realizados testes em uma balança de peso morto seguindo uma padronização de ensaio com a seguinte sequência de execução: pressuriza-se o sistema hidráulico até que o peso calibrado da balança seja erguido, e logo após se faz a verificação de vazamentos,

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

progressivamente até atingir 1000 bar. O papel toalha foi utilizado sobre as cápsulas de forma a tornar visível, facilmente, a fonte de vazamento e identificar, se o óleo que vazou foi do sistema da balança ou da cápsula, pois são de cores distintas, vermelho para a cápsula e amarelo para a Balança (PENALVER 2016).

Os defeitos de fabricação da cápsula são as principais fontes de vazamento e, geralmente, isto ocorre em baixas pressões. Pensando nisto as etapas de testes seguiram a seguinte escala:

- Pressuriza-se de 10 bar em 10 Bar até 100 Bar.
- De 100 Bar passa para 150 Bar.
- De 150 Bar para 210 Bar.
- De 210 para 310,410, e progressivamente de 100 em 100 Bar até 910Bar.
- De 910 para 1000 Bar. Nesta pressão aguarda-se por volta de 5 minutos para se fazer a verificação.

A cada verificação de vazamentos utilizou-se papel toalha caso este estivesse intacto, do contrário era substituído.

A Figura 2 mostra a Balança de peso morto, e as cápsulas.

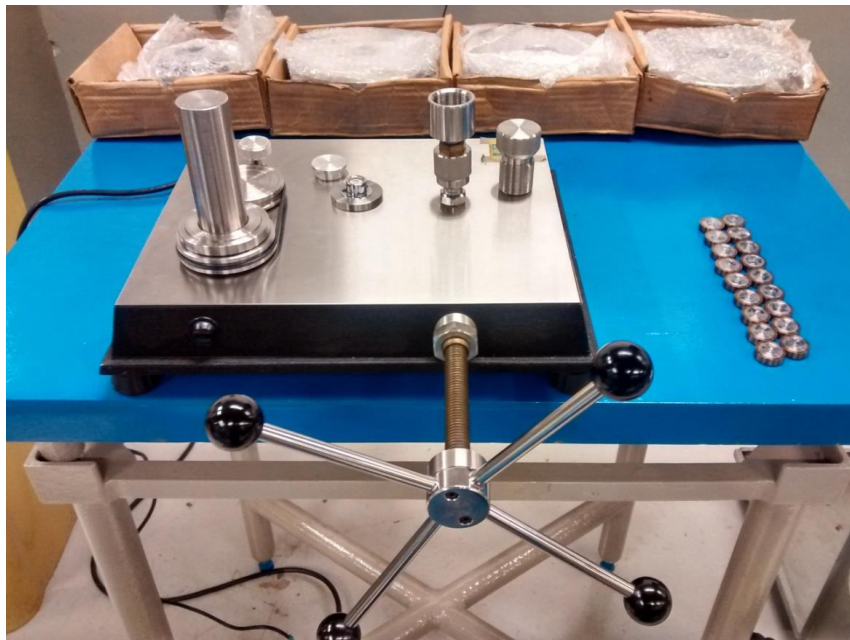


Figura 2: Fotografia da Balança de Peso Morto e cápsulas.

Fonte: Autor

4. Resultados e Discussão

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Foram descartadas dos testes as cápsulas, nº 2 por vazamento no furo da esfera, nº 6 idem ao anterior, nº 11 por ter seu diafragma perfurado no momento da montagem.

Seguindo o protocolo de teste igualmente para todas as amostras, os resultados obtidos seguiram o mesmo padrão e todas as amostras atingiram a pressão máxima de 1000 Bar, que também é o limite da Balança de Peso Morto.

A Tabela 1 mostra o resultado dos ensaios de estanqueidade, evidenciando as cápsulas aprovadas e reprovadas, sendo que as aprovadas são as cápsulas que atingiram 1000 Bar, e reprovadas as que tiveram vazamento na interface de contato, e ou defeito.

Tabela 1: Resultados dos testes de estanqueidade.

Lote 1		
Amostra	Pressão	Resultado
1	30 Bar	Reprovado
2	30 Bar	Reprovado
3	220 Bar	Reprovado
4	30 Bar	Reprovado
5	30 Bar	Reprovado
6	720 Bar	Reprovado
7	10 Bar	Reprovado
8	10 Bar	Reprovado
9	1000 Bar	Aprovado
10	10 Bar	Reprovado
11	1000 Bar	Aprovado
12	1000 Bar	Aprovado
Lote2		
1	1000 Bar	Aprovado
2	Defeito	Reprovado
3	1000 Bar	Aprovado

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

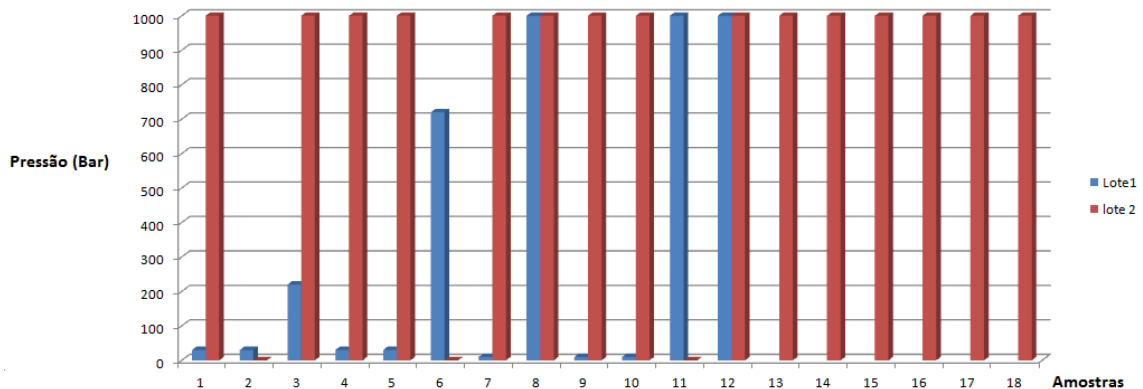
4	1000 Bar	Aprovado
5	1000 Bar	Aprovado
6	Defeito	Reprovado
7	1000 Bar	Aprovado
8	1000 Bar	Aprovado
9	1000 Bar	Aprovado
10	1000 Bar	Aprovado
11	Defeito	Reprovado
12	1000 Bar	Aprovado
13	1000 Bar	Aprovado
14	1000 Bar	Aprovado
15	1000 Bar	Aprovado
16	1000 Bar	Aprovado
17	1000 Bar	Aprovado
18	1000 Bar	Aprovado

Fonte: Autor

O gráfico 1, mostra a evolução do método aplicado ao segundo lote de 18 amostras no qual foram aprimorados os processos de ajuste com interferência e montagem, onde todas as cápsulas que não apresentaram defeitos, atingiram o objetivo de resistir à pressão de 1000Bar.

Grafico1: Lote 1 comparado ao Lote 2, mediante ensaio de estanqueidade.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.



Fonte: Autor

5. Considerações finais

A eficiência de estanqueidade do segundo lote onde o método foi aprimorado se mostrou superior em relação ao primeiro, obtendo uma eficiência de 83,33% de 18 amostras, comparado aos 25% de 12 amostras do primeiro lote. O resultado deste trabalho é um indicador de que este método inovador para encapsular sensores de pressão, faz jus à continuação deste estudo, e também a realização de mais ensaios de estanqueidade, e de outros tipos, como por exemplo, ensaio destrutivo, de durabilidade, fadiga, térmicos, e outros que proporcionem a continuidade deste desenvolvimento para tornar esta tecnologia aplicável e viável comercialmente. Assim como se salienta a necessidade de investimento a fim de aprimorar os métodos de fabricação, e montagem com equipamentos e ferramentais específicos para tal, e financiar ensaios mais duradouros em equipamentos homologados e calibrados.

Referências

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

ABNT NBR 6158; Sistemas de tolerância e Ajustes, junho de 1995, 79 páginas.

Agostinho, Oswaldo Luiz. Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões, 9º edição, editora Bluncher 2007.

Bulba, Edivaldo Antonio. Tolerâncias Medições e Qualidade, 1ª edição, edição do autor, ISBN: 978-85-909284-0-9

FURLAN, H. FURLAN, H. Desenvolvimento de Membranas para Sensores de Pressão utilizando freamento eletroquímico, Escola Politécnica da USP 2003; Tese Doutorado, 79 páginas.

F. Della Lucia, P. Zambrozi Jr, F. Frazatto, M. Piazzetta, A. Gobbia, Design, fabrication and characterization of SAW pressure sensors for offshore oil and gas exploration, Brazil State University of Campinas, School of Electrical and Computing Engineering, Av. Albert Einstein, 400, 13083-852 Campinas, SP, Brazil (2014)

Lung-Tai Chen, Jin-Sheng Chang, Chung-Yi Hsu, and Wood-Hi Cheng, Fabrication and Performance of MEMS-Based Pressure Sensor Packages Using Patterned Ultra-Thick Photoresists, ISSN 1424-8220, 2009

K.Birkelund, (2001), Peter Gravesen, sergey Shiryaev, Per Brandt, Maria Dall Rasmussen, High-pressure silicon sensor with low-cost packaging, Denmark, 2001

PENALVER. C. A. DIEGO; FRAGRA. A. MARIANA; FURLAN. HUMBER; Development of a low-cost packaging for MEMS Pressure Sensor; Conference: IBERSENSOR 2014 - IEEE Conference Publications, At Bogota.

PENALVER. C. A. DIEGO; FURLAN. HUMBER; Inovação do Processo de Encapsulamento de Sensores Isolados do Meio; IX WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA; São Paulo, 15 e 16 de outubro de 2014

PENALVER. C. A. DIEGO; OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ENCAPSULAMENTO PARA SENSORES DE PRESSÃO ISOLADOS DO MEIO. 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2016.